

LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO
CUP C11J05000030001

VIABILITE A32 NORD DORA – VIABILITA' A32 NORD DORA

RAPPORT GEOLOGIQUE-GEOTECHNIQUE – RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	08/02/2012	Première diffusion / Prima emissione	L. BARBERIS (MUSINET)	C. GIOVANNETTI (MUSINET)	M. BERTI (SITAF)
A					
B					



CODE DOC	P	D	2	C	3	A	M	U	S	2	3	0	0	0
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

P	A	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	50	76	04	10	01
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA



LTF sas – 1091 Avenue de la Boisse – BP 80631 – F-73006 CHAMBERY CEI
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF Tutti i diritti riser

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

.....	
RESUME/RIASSUNTO	4
1. INTRODUZIONE	5
2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DA ESEGUIRSI	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
4. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	8
5.1 Depositi quaternari.....	9
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE	9
6.1 Geomorfologia dell'area di progetto	11
6.2 Assetto idrogeologico dell'area di progetto.....	12
6.3 Indicazioni provenienti dal piano di assetto idrogeologico (PAI)	12
6.3.1 Rischio idraulico	13
6.4 Dati preesistenti utilizzati per la redazione del Modello geologico di riferimento dell'area di progetto	15
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	17
7.1 Parametrizzazione geotecnica.....	20
7.1.1 Prove penetrometriche S.P.T.	20
7.1.2 Prove di permeabilità in foro	22
7.1.3 Indagini geofisiche.....	22
7.1.4 Prove di laboratorio.....	28
7.1.5 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.....	28
7.2 Sintesi dei parametri geotecnici delle Unità geotecniche distinte nel settore di Progetto.....	29

RESUME/RIASSUNTO

Texte en Français.

Cet rapport traite l'encadrement, au niveau de Project Définitif, des caractéristiques géologique-géotechnique et hydrogéologique pour le secteur ou est prévue la réalisation du « Nouveau échangeur de Susa Est sur la A32 ».

Testo in Italiano.

Il presente documento ha come oggetto l'inquadramento, a livello di Progetto Definitivo, delle caratteristiche geologiche-geotecniche ed idrologiche per l'area ove è prevista la realizzazione del "Nuovo svincolo di Susa Est sulla A32".

1. Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto l'analisi delle caratteristiche geologiche, geotecniche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del settore di territorio interessato dal Progetto Definitivo di rifacimento ed adeguamento dell'attuale svincolo di Susa Est sulla autostrada A32 Torino-Bardonecchia.

Questo rapporto analizza e descrive il contesto geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico ricostruito durante le seguenti fasi operative:

- ricerca bibliografica di tutti i dati disponibili sulle aree interessate dal progetto, mirata ad acquisire i dati più recenti sull'assetto geodinamico e tettonostratigrafico dell'area indagata;
- rilevamento geologico, geomorfologico;
- analisi fotogeologica in stereoscopia;
- analisi dei risultati delle campagne di indagini geognostiche;
- caratterizzazione idrogeologica dei litotipi affioranti mediante definizione dei complessi idrogeologici;

2. Descrizione degli interventi da eseguirsi

Il Progetto di rifacimento dello svincolo di Susa Est prevede la creazione di una nuova viabilità tramite la realizzazione di una serie di nuove rampe e opere di collegamento alla viabilità sia autostradale che ordinaria al fine di risolvere le interferenze con la futura linea ferroviaria ad alta velocità Torino-Lione. Gli interventi previsti dal progetto sono riportati schematicamente nella figura **Fig. 1** sottostante.

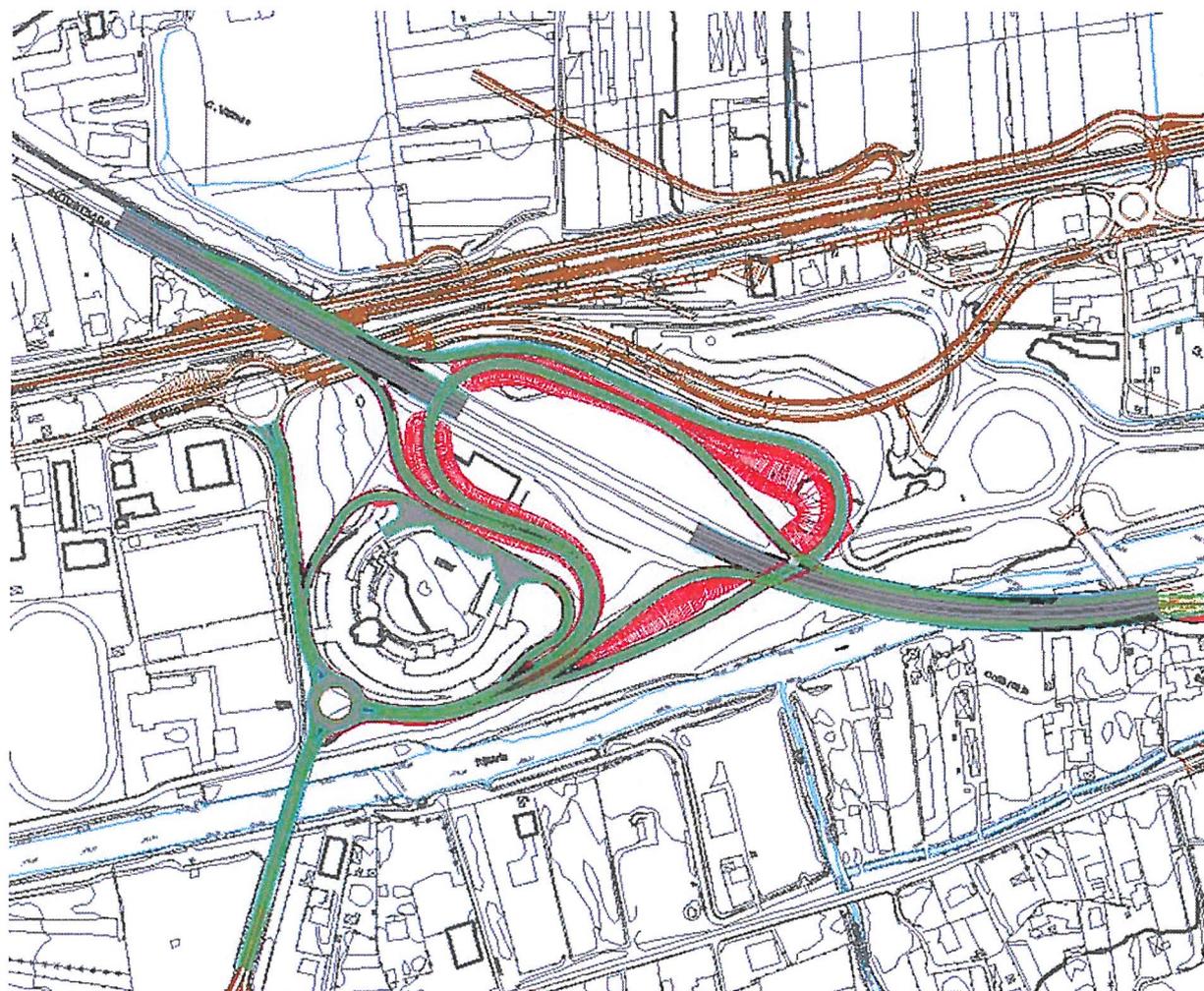


Fig. 1 – Planimetria schematica degli interventi previsti dal Progetto di rifacimento dello svincolo di Susa Es

3. Inquadramento geografico

L'area di progetto ricade all'interno della media Valle di Susa, più precisamente fa parte del settore definito Piana di Susa, si trova all'interno del territorio comunale di Susa in provincia di Torino, circa 50 km a Ovest del capoluogo piemontese. Il settore di studio è caratterizzato da un reticolo viario complesso e sviluppato che comprende l'autostrada A32, le strade statali SS24 e SS25 e la linea ferroviaria Susa – Bussoleno.

L'intera tratta inoltre è fortemente condizionata dalla presenza del fiume Dora che l'autostrada A32 attraversa in prossimità dell'attuale Autoporto.

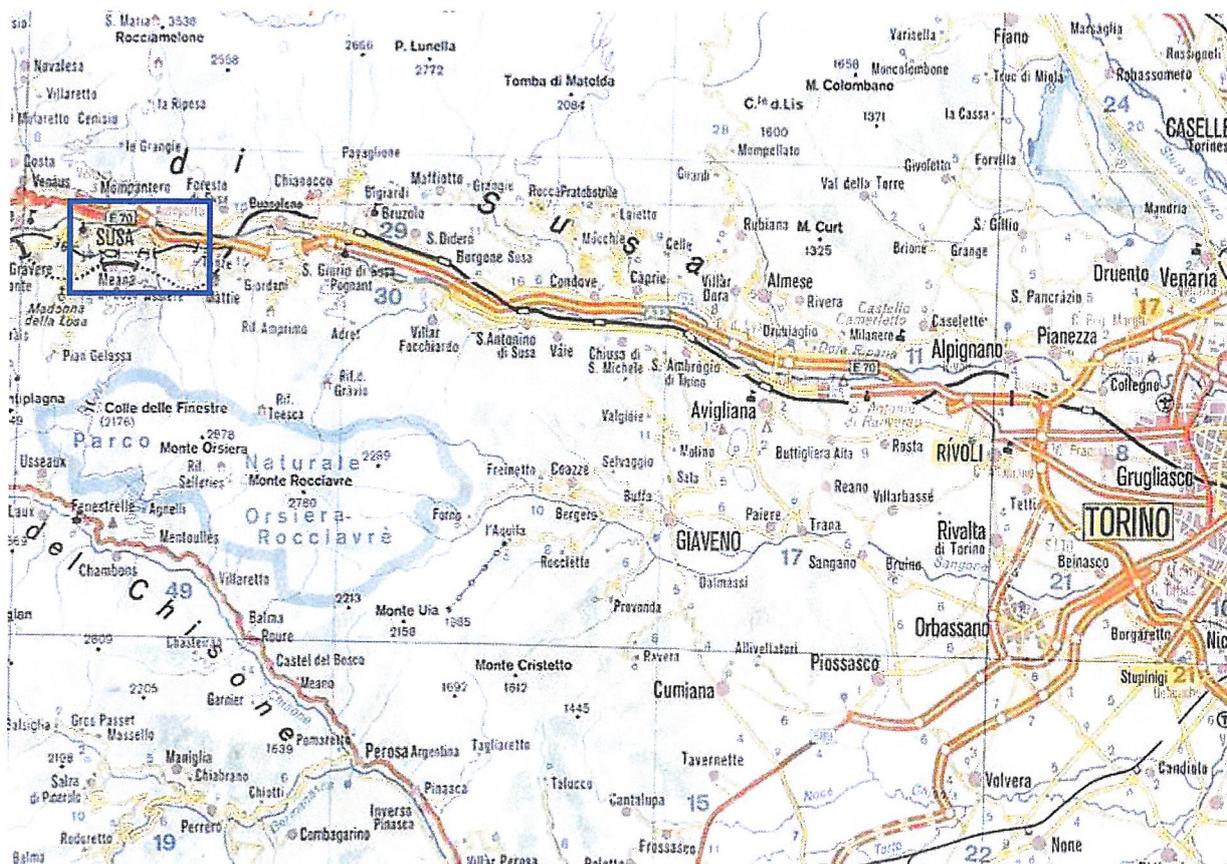


Fig. 2 – Inquadramento geografico dell'area di Progetto

4. Documentazione di riferimento

Il Modello Geologico-geotecnico di riferimento descritto nel presente studio si basa principalmente sui dati geologici, geomorfologici e idrogeologici acquisiti mediante rilevamenti puntuali sul terreno e su dati preesistenti provenienti da studi non finalizzati alla realizzazione dell'infrastruttura in oggetto.

In sintesi, i dati considerati provengono dalle seguenti fonti:

- Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 55 Susa & Note illustrative;
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 154 Susa & Note illustrative;
- Foto aeree volo Regione Piemonte alluvione 2000, in scala 1:14.000 circa, a colori (F154);
- Geoportale ARPA Piemonte (Banca dati Geotecnica);
- Elaborati del Piano Regolatore generale comunale vigente del comune di Susa;
- Risultati della campagna di sondaggi realizzati da LTF durante il 2010;
- Risultati della campagna di sondaggi realizzati da LTF durante il 2012;
- Risultati della campagna di sondaggi realizzati da SITAF contestualmente alle differenti fasi progettuali della A32;

L'ubicazione delle indagini disponibili è riportata nella Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0304-0-PA-PLA).

5. Inquadramento geologico generale

Il settore della Piana di Susa comprende un breve tratto della valle principale a valle della confluenza del torrente Cenischia. I tratti distintivi del settore sono definiti dalla presenza dei depositi quaternari della piana alluvionale della Dora Riparia, da estesi conoidi alluvionali (Giandula, Grilli, Scaglione e Corrente) e dalla presenza alla base del versante destro di dorsali allungate in senso E - W riferibili al modellamento glaciale (area di Meana di Susa). I depositi alluvionali quaternari della Dora Riparia sono costituiti prevalentemente da sedimenti medio-grossolani costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa, passanti a sabbie limose con ghiaia e locali ciottoli. Le indagini disponibili hanno inoltre evidenziato la presenza, a profondità variabili, di orizzonti conglomeratici, con differente grado di cementazione, caratterizzati da una potenza significativa e una buona continuità laterale.

Per quanto riguarda la profondità del basamento al di sotto dei depositi quaternari, nessuna indagine fornisce elementi certi. I sondaggi più profondi eseguiti nel settore S66 e P1, spinti rispettivamente fino a 130 e 100 metri di profondità, non hanno incontrato il basamento roccioso.

Le principali formazioni affioranti nell'area di progetto sono descritte più approfonditamente nel seguito.

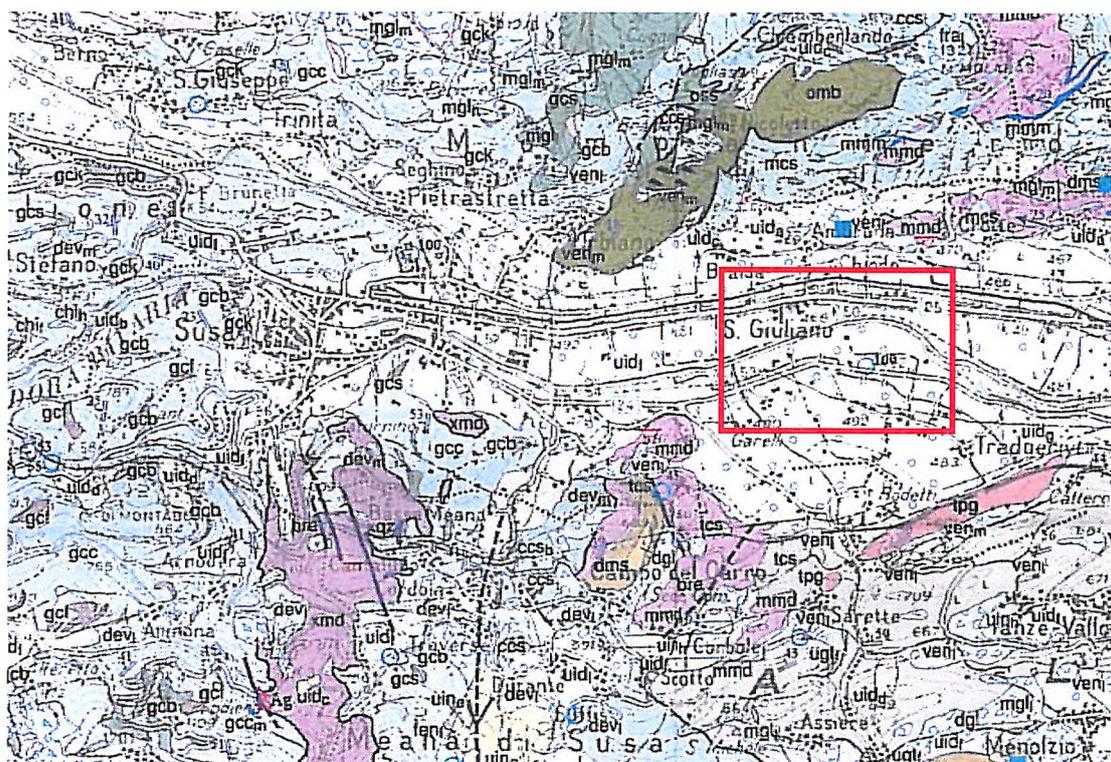


Fig. 3 – Estratto della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 154 Susa. In rosso è evidenziata l'area di progetto.

5.1 Depositi quaternari

L'area interessata dal progetto di rifacimento dello svincolo di Susa Est si imposta su una serie potente di depositi di età quaternaria, che costituiscono i terreni di appoggio delle opere in progetto.

Tali depositi nelle aree di studio sono rappresentati principalmente da depositi alluvionali al cui interno è possibile distinguere:

- depositi di fondovalle; all'interno dei sedimenti alluvionali di fondovalle si possono distinguere una litofacies ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa prevalente, costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose in scarsa matrice sabbioso-ghiaiosa (clast-supported), una litofacies prevalentemente sabbioso-limoso con subordinata ghiaia e ciottoli ed una facies limoso-sabbiosa subordinata che da vita a livelli discontinui di potenza metrica all'interno delle facies più grossolane.
- depositi torrentizi dei tributari minori; si tratta di depositi recenti costituiti prevalentemente da ciottoli e blocchi eterometrici con scarsa o nulla matrice ghiaioso-sabbiosa, presenti con modesto spessore lungo le aste dei tributari minori;
- depositi di conoide; tali depositi sono particolarmente sviluppati allo sbocco nel fondovalle dei rii principali e originano dei potenti accumuli costituiti da materiali che presentano caratteristiche granulometriche e tessiture comparabili con quelle dei depositi fluviali di fondovalle, ma che sono caratterizzati da maggiori vuoti interstiziali, un grado di classazione inferiore, ed un minor coefficiente di arrotondamento dei blocchi.

6. Inquadramento geomorfologico regionale

L'attuale morfologia della Val Susa è il risultato di un complesso modellamento operato da diversi agenti morfogenetici che si sono susseguiti a partire dal Pliocene, anche se solo a partire dal Pleistocene medio si hanno testimonianze geologiche e geomorfologiche. Si riconoscono forme e depositi associate al modellamento glaciale i cui relitti sono conservati prevalentemente alla fronte e ai lati dell'originaria massa glaciale, la cui distribuzione consente di ricostruire le fasi principali di espansione e di ritiro del ghiacciaio vallivo. Dopo l'ultimo ritiro, la morfologia glaciale è stata rimodellata ad opera dei processi di dinamica fluviale della Dora Riparia, fluviale torrentizia dei bacini laterali e dei processi gravitativi di versante.

Successivamente alla costruzione dell'Anfiteatro di Rivoli - Avigliana, di cui si ha traccia a partire dal Pleistocene medio, il deterioramento climatico avviatosi alla fine del Pleistocene inferiore ha infatti determinato il passaggio da condizioni di tipo caldo-umido a un periodo caratterizzato da forti contrasti climatici: a fasi "interglaciali", caratterizzate da un clima umido-temperato simile a quello attuale, si sono alternati periodi "glaciali" sensibilmente più freddi.

Dopo la fase di massima espansione dell'ultima glaciazione (Pleistocene sup., Last Glacial Maximum - LGM) nella valle principale persisteva ancora il ghiacciaio della Val Cenischia, trasformando la media Val di Susa in valle sospesa ("gradino di Gravera").

I depositi più antichi sono rappresentati dall'Allogruppo di Bennale che forma lembi di depositi caratterizzati da un forte rimodellamento ed ubicati in una fascia altimetrica più o meno elevata, funzione della posizione rispetto allo sbocco vallivo. Tali depositi, che costituiscono la cerchia più esterna attualmente conservata, sono riferibili al Pleistocene medio (Unità di La Cassa). Nella parte superiore del Pleistocene medio ha luogo una nuova

espansione glaciale. L'avanzata della fronte glaciale verso Sud ha comportato radicali variazioni nell'andamento del corso del T. Sangone il cui deflusso, originariamente impostato lungo la depressione dei Laghi di Avigliana, è stato sospinto a ridosso del rilievo del M. Pietraborgha dando luogo al solco epigenetico che corrisponde alla "stretta" di Trana.

Le fasi successive (Allogruppo del Moncenisio) sono testimoniate da depositi distribuiti su fasce altimetriche progressivamente più basse; tra queste la più alta e più antica è attribuibile, in base alla sua correlabilità altimetrica con le cerchie maggiori dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli - Avigliana (Alloformazione di Frassinere), e le successive ai diversi stadi di ritiro attribuibile al Pleistocene superiore (Alloformazione di Magnoletto e Alloformazione di Venaus).

Nella parte inferiore del Pleistocene superiore, a seguito di un nuovo deterioramento climatico successivo all'interglaciale eemiano, nell'arco alpino prende avvio una nuova glaciazione: nella Valle di Susa l'avanzamento della fronte glaciale comporta la costruzione delle cerchie intermedie dell'Anfiteatro di Rivoli - Avigliana, dei corrispondenti depositi fluvio-glaciali e di quelli fluvio-lacustri. La riavanzata della fronte glaciale verso Sud ha nuovamente sospinto il T. Sangone comportando un ulteriore approfondimento della "stretta" di Trana.

Nella parte terminale del Pleistocene superiore, il ghiacciaio della Dora Riparia è interessato da altre tre fasi di espansione alle quali è connessa la formazione di altrettante cerchie. La sequenza cataglaciale è stata accompagnata e seguita dalla nascita di alcuni bacini lacustri: i dati relativi a sondaggi e pozzi per acqua attestano infatti che nel fondovalle principale sono esistite diverse configurazioni di un esteso lago proglaciale, ora colmato, le cui uniche tracce rilevabili in superficie sono conservate ai margini dell'incisione della Dora Riparia in forma di lembi di superfici terrazzate localizzate sul versante destro tra Avigliana e Alpignano. In corrispondenza della depressione di Avigliana le tracce di questi antichi bacini lacustri corrispondono alla torbiera di Trana e alla Palude dei Mareschi; il Lago Grande e il Lago Piccolo rappresentano invece gli unici bacini lacustri postglaciali sopravvissuti fino ad oggi, sebbene anch'essi risultino in lento ma graduale colmamento.

Contemporaneamente all'ultima fase di ritiro lo sbarramento costituito dalle cerchie frontali formatesi durante l'LGM ha determinato la formazione di un esteso bacino lacustre. L'areale di distribuzione dei depositi di interrimento di questo bacino, attualmente quasi completamente sepolti dai depositi alluvionali postglaciali, è compresa tra Sant'Antonino e Avigliana. Presso Villardora, le analisi polliniche, effettuate nella parte alta della successione di colmamento, causata dalla Dora e dai suoi affluenti laterali, hanno consentito di riconoscere un intervallo di tempo compreso tra la fine del Pleistocene superiore e l'Olocene medio.

Indagini di sismica ad alta risoluzione effettuate nel tratto terminale della Valle di Susa indicherebbero la presenza dei sedimenti "Villafranchiano" Auct. (rappresentati dall'Unità di La Cassa come riportato nel Foglio Torino Ovest della Carta Geologica d'Italia 1:50'000) anche al di sotto del complesso lacustre post-glaciale localizzato nel settore interno dell'anfiteatro. L'alta energia dei versanti provocata dall'esarazione e dal ritiro delle masse glaciali (rilascio di stress da deglaciazione), le caratteristiche lito - strutturali e geomeccaniche e i legami fra deformazioni gravitative ed evoluzione geodinamica sono le principali cause predisponenti delle numerose frane che coinvolgono estese porzioni di versanti. Per alcune frane è possibile ipotizzare come causa predisponente la presenza di forti riduzioni di volume dell'ammasso roccioso in profondità a seguito di generalizzati processi di dissoluzione di rocce carbonatiche e solfatiche.

Tali frane, il cui riconoscimento è basato sulla presenza di forme tipiche, sono denominate “Deformazioni Gravitative Profonde di Versante” (DGPV) ed hanno un peso determinante nella morfogenesi dei versanti.

Altri processi morfogenetici, attualmente in formazione ossia tuttora in rapporto diretto con l’agente (corso d’acqua, ghiacciaio, nicchie di distacco, ecc.) dal quale hanno preso origine, sono arealmente diffusi e rappresentati dai depositi fluviali, che formano in superficie i fondovalle delle Valli di Susa e Cenischia, da depositi di origine mista, dai detriti di falda e dalla coltre eluvio – colluviale.

All’interno dei depositi alluvionali di fondovalle si possono distinguere due litofacies: una ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, e l’altra limoso-sabbiosa. La litofacies grossolana, che trova una distribuzione più generalizzata, è costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose sabbioso-ghiaiose clast-supported, mal stratificate, passanti a sabbie ghiaiose con stratificazione planare. La litofacies limoso-sabbiosa è costituita da limi sabbiosi localmente con livelli torbosi verso l’alto, debolmente stratificati, con uno spessore medio di qualche metro. Essi costituiscono tipicamente il letto attuale di piena dei corsi d’acqua, le superfici suborizzontali di fondovalle fiancheggianti i corsi d’acqua, corrispondenti alle aree di potenziale esondazione, ed i conoidi allo sbocco dei bacini tributari.

I depositi di origine mista comprendono i depositi di debris flow, di origine torrentizia e di valanga: negli areali più rappresentativi i corpi da questi costituiti tendono a mascherare i depositi glaciali o gli accumuli gravitativi completamente formati. Sono costituiti da litofacies molto variabili tra le quali prevale generalmente un diamicton a matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie ghiaiose.

Gli accumuli gravitativi costituiscono depositi caratterizzati dalla presenza di clasti e massi angolosi, eterometrici, con tessitura da open work a partially open work, privi di qualsiasi classazione granulometria che corrispondono geneticamente ai fenomeni classificati come crolli. Inoltre comprendono gli accumuli delle frane per colamento (earth/mud flows) e derivano dalla mobilitazione prevalentemente della coltre detritico-colluviale o della porzione più superficiale del substrato alterato e/o disgregato.

I detriti di falda costituiscono estesi areali di distribuzione e rappresentano il prodotto del processo di disgregazione meccanica termo e crio - clastica. Sono costituiti da ghiaie ad elementi generalmente spigolosi clast - supported, localmente con tessitura open - work e scarsa matrice, talora a elementi di grandi dimensioni. La natura dei clasti rispecchia strettamente quella delle unità tettonostratigrafiche locali.

La coltre eluvio - colluviale, affiora molto estesamente e rappresenta il prodotto della degradazione superficiale di formazioni del substrato particolarmente alterabili. Si tratta di prodotti matrix - supported, a prevalente matrice argilloso - limosa nerastra, nella quale sono immersi clasti angolosi (del tutto subordinatamente arrotondati, derivati dalla rielaborazione di formazioni superficiali) di calcescisti, dei litotipi ad essi associati e della copertura. Gli spessori sono estremamente variabili (da decimetrico a metrico).

6.1 Geomorfologia dell’area di progetto

L’area oggetto di studio è un’area prevalentemente pianeggiante localizzata nella pianura alluvionale della Dora Riparia. L’attuale morfologia della Piana di Susa è il risultato di un complesso modellamento operato da diversi agenti morfogenetici che si sono susseguiti a partire dal Pliocene. Si riconoscono forme e depositi associate al modellamento glaciale i cui relitti sono conservati prevalentemente alla fronte e ai lati dell’originaria massa glaciale, la

cui distribuzione consente di ricostruire le fasi principali di espansione e di ritiro del ghiacciaio vallivo. Dopo l'ultimo ritiro, la morfologia glaciale è stata rimodellata ad opera dei processi di dinamica fluviale della Dora Riparia, fluviale torrentizia dei bacini laterali e dei processi gravitativi di versante. L'area di progetto inoltre è un'area fortemente condizionata dall'azione antropica (scavi e rilevati stradali) e superficialmente sono presenti estesi depositi di riporto di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa.

6.2 Assetto idrogeologico dell'area di progetto

In questo capitolo è illustrata la schematizzazione del sottosuolo in complessi idrogeologici e il modello idrogeologico di riferimento deducibile sulla base delle caratteristiche litologiche dedotte dalle stratigrafie dei sondaggi disponibili, sulla base dei risultati delle prove di permeabilità realizzate nel settore durante le differenti campagne indagini e sulla base dell'interpretazione dei dati piezometrici disponibili. L'area di studio dal punto di vista idrogeologico è caratterizzata dalla presenza di un'unica unità idrogeologica corrispondente ai depositi alluvionali, torrentizi recenti e di riporto. Tale unità è sede dell'acquifero libero superficiale e risulta costituita da depositi di origine continentale rappresentati da prevalenti ghiaie e sabbie, passanti localmente a conglomerati, con ridotto contenuto in limo ed argilla e da sabbie limose con ghiaia.

Tali depositi, sulla base delle prove Lefranc realizzate nei sondaggi S65, S66 e S67 della campagna di indagini LTF 2010, presentano un coefficiente di permeabilità variabile tra circa $1E-05$ e $1E-06$ m/s (indicativi di un grado di permeabilità medio).

Sulla base dei dati piezometrici attualmente disponibili (sondaggio/pozzo P1 ubicato nel settore dell'attuale Autoporto), la falda si colloca a circa 30 m di profondità nei depositi quaternari, anche se si ritiene che possa essere più superficiale man mano che ci si avvicina all'alveo del fiume Dora.

6.3 Indicazioni provenienti dal piano di assetto idrogeologico (PAI)

In questo capitolo è illustrato lo studio dell'interazione tra gli interventi in progetto e la carta del Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (D.L.180/98) denominata "Carta Inventario dei Centri Abitati Instabili, in scala 1:10.000", realizzata dall'Autorità di Bacino della Regione Piemonte.

Il Piano Stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico è finalizzato alla valutazione del rischio di frana ed alluvione. Per "rischio" si intende "l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso". L'entità dei danni attesi può essere valutata attraverso l'equazione:

$$R = H \times V \times E$$

dove:

H = la pericolosità ovvero la probabilità di occorrenza dell'evento calamitoso entro un certo intervallo di tempo in una zona tale da influenzare l'elemento a rischio;

V = la vulnerabilità, ovvero il grado di perdita (espresso in una scala da 0 = "nessun danno" a 1 = "perdita totale") prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi dell'evento calamitoso temuto;

E = valore dell'elemento a rischio, ovvero il valore (che può essere espresso in termini monetari o di numero o quantità di unità esposte) della popolazione, delle proprietà e delle attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area.

Sia la valutazione che la mitigazione del rischio richiedono quindi l'acquisizione di informazioni territoriali sui caratteri geologico-ambientali e su quelli socio-economici dell'area in esame. Dunque, In riferimento ad esperienze di pianificazione, è quindi possibile definire quattro classi di rischio, secondo le classificazioni di seguito riportate:

- moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Di seguito verranno presentati i dati cartografici del PAI a rischio idraulico, relativi all'area in esame.

6.3.1 Rischio idraulico

L'individuazione delle aree a rischio idraulico operata nel PAI, si basa sulla stima della portata di piena prevedibile in un determinato tratto di corso d'acqua. I valori delle portate di piena, caratterizzate da un tempo di ritorno, sono di norma dedotte sulla base di valutazioni idrologiche qualitative ed elaborazioni statistiche di dati idrometrici storici. La perimetrazione delle aree a rischio è il prodotto della sovrapposizione di carte delle aree inondabili, distinte in base ai tempi di ritorno degli eventi di piena all'origine del fenomeno, e di corografie delle aree abitate, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale. Attraverso questo procedimento sono quindi individuate diverse classi di rischio e zone di attenzione per le quali sono necessarie misure di prevenzione o interventi di mitigazione del rischio stesso.

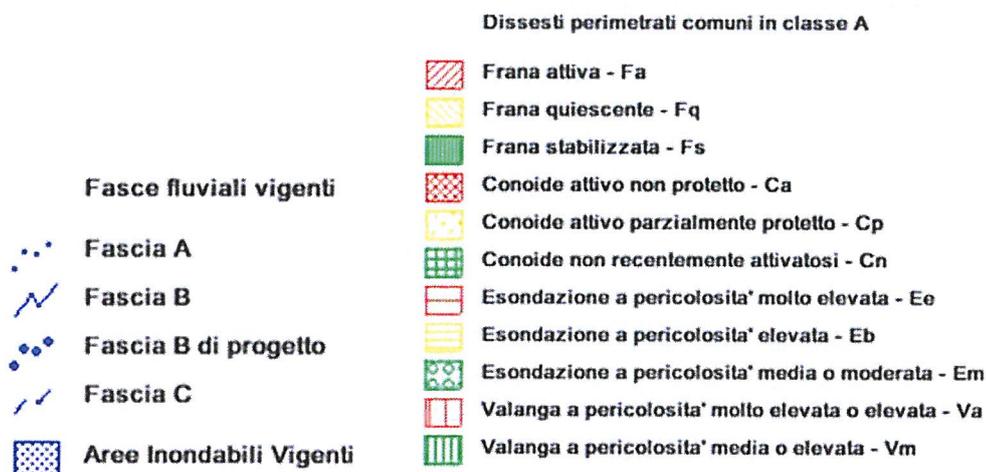
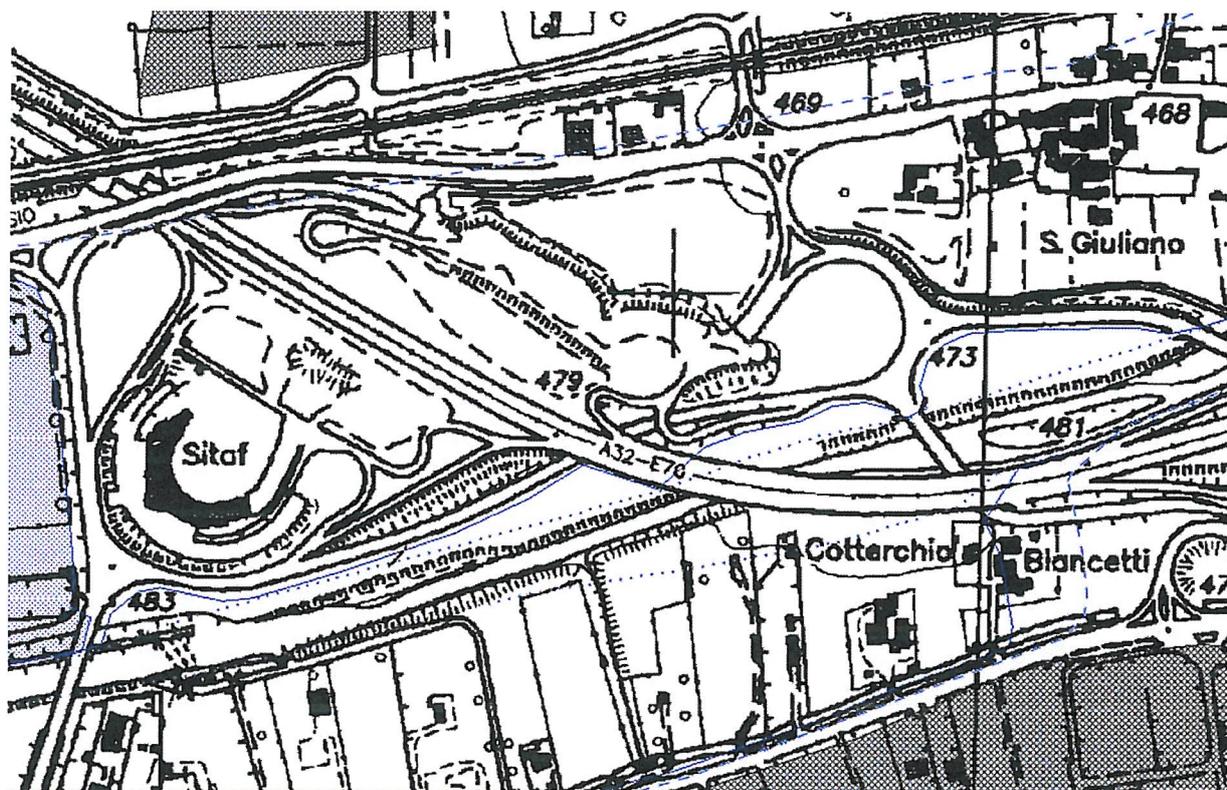


Fig. 4 – area Svincolo Susa Est: estratto della cartografia Pai delle aree di progetto – fonte: Regione Piemonte; Sistema informativo on line della difesa del suolo

Area svincolo Susa Est: l'area in cui sono previsti i lavori di rifacimento ed adeguamento dello svincolo di Susa est ricade completamente in fascia C. Non si segnalano criticità particolari dovute ad interferenze con aree di dissesti perimetrali (Fig. 4).

6.4 Dati preesistenti utilizzati per la redazione del Modello geologico di riferimento dell'area di progetto

Per la redazione del Modello geologico di riferimento dell'area di progetto sono stati presi in considerazione i dati disponibili (principalmente stratigrafie sondaggi geognostici con relative prove in foro) provenienti dagli studi realizzati per la progettazione di altre infrastrutture, in particolare dell'autostrada A32 e della linea ferroviaria ad alta velocità Torino-Lione. L'ubicazione delle indagini esistenti è riportata nella Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0304-0-PA-PLA).

Nelle tabelle seguenti sono elencate le indagini attualmente disponibili ricadenti nell'area di progetto o nelle sue immediate vicinanze; tali indagini sono state prese in considerazione per la redazione del Modello Geologico locale di Riferimento. Si segnala tuttavia che per alcuni dei sondaggi realizzati per il progetto dell'autostrada (S19b, S20, P5, B.V.) è disponibile solo l'ubicazione planimetrica ma non è disponibile la documentazione dei risultati delle indagini (stratigrafie, foto, prove in foro ed eventuali di laboratorio).

All'interno di alcuni sondaggi sono state inoltre realizzate sistematicamente prove in foro di tipo S.P.T., prove di permeabilità Lefranc e prelievi di campioni di terreno per le prove di laboratorio.

Sulla base di questi dati è possibile individuare nell'area di studio un'unica unità litotecnica principale costituita dai depositi alluvionali quaternari; si tratta di prevalenti depositi granulari ghiaioso-sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi ai quali si possono trovare intercalati subordinati sedimenti più fini, costituiti da limi-sabbiosi con ghiaia, che possono formare orizzonti discontinui di potenza ridotta. All'interno dei depositi alluvionali i sondaggi hanno messo in luce anche la presenza di livelli conglomeratici poligenici caratterizzati da un grado di cementazione ed alterazione variabile.

Nell'area dello svincolo di Susa est livelli francamente conglomeratici sono stati intercettati solo dal sondaggio S66 tra circa 58,5 e 68,5 metri di profondità; la presenza di orizzonti debolmente cementati o con tracce di cementazione sono segnalati anche a profondità comprese tra circa 15 e 30 m nei sondaggi realizzati più in prossimità dell'alveo della Dora (sondaggi F1, F2, F5).

Occorre inoltre segnalare la presenza estesa di terreno superficiale di riporto di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa; tali depositi presentano potenza variabile da poche decine di centimetri sino a oltre 7 metri (sondaggio S67).

In prossimità dell'area oggetto di studio, in particolare nell'adiacente area dell'attuale autoporto, durante la campagna di indagini LTF 2012 sono state anche realizzate 4 indagini geofisiche tipo MASW per la determinazione del profilo di Vs e del valore di Vs30; gli stendi menti presentano lunghezza variabile sino ad un massimo di circa 260 m (linea P4). L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata nella Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0304-0-PA-PLA).

Svincolo Susa Est: indagini esistenti							
Codice sondaggio	Profondità (m)	Tipo sondaggio	Opera di pertinenza	Straumentazione in foro	Falda (m)	Litotipo	Prove Permeabilità Lefranc (n°)
S65	30,00	carotato verticale	LTF 2010	piezometro		0-4,45: terreno di riporto (ghiaia e sabbia) 4,45-12,4: ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa 12,4-13,35: sabbia limosa con ghiaia 13,35-17,8: ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa 17,8-18,9: sabbia limosa con ghiaia 18,9-30: ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	4
S66	130,00	carotato verticale	LTF 2010	piezometro		0-0,4: pavimentazione stradale 0,4-5: presumibile riporto sabbioso-limoso con ghiaia 5-10,25: ghiaia media e grossa con ciottoli in matrice sabbiosa 10,25-12: sabbia media limosa con ghiaia 12-29: ghiaia con ciottoli in matrice sabbioso-limosa 29-31: sabbia limosa con ghiaia 31-58,6: ghiaia con ciottoli in matrice sabbioso-limosa 58,6-68,45: conglomerato da poco a moderatamente cementato alterato 68,45-96: ghiaia con ciottoli in matrice sabbioso-limosa 96-130: ghiaia e sabbia-limosa con rari ciottoli	12
S67	30,00	carotato verticale	LTF 2010	piezometro		0-7,5: pavimentazione stradale e terreno di riporto ghiaioso-sabbioso 7,5-8,3: sabbia limosa con ghiaia 8,3-15: ghiaia grossa con ciottoli in matrice sabbioso-limosa 15-18: sabbia limosa con ghiaia e rari ciottoli 18-27,7: ghiaia con ciottoli in matrice sabbioso-limosa 27,7-30: sabbia limosa con ghiaia e rari ciottoli	2
F1	32,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-5: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 5-8,3: sabbia limosa con ghiaia e ciottoli 8,3-16,5: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli 16,5-32: conglomerato poco cementato alterato e sfatto	
F2	30,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-5,8: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 5,8-14: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli 14-30: conglomerato poco cementato alterato e sfatto	
F5	30,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-2,8: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 2,8-25,4: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli 25,4-26: conglomerato poco cementato alterato e sfatto 26-30: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	
F6	26,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-3: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 3-14: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli 14-19,2: conglomerato poco cementato alterato e sfatto 19,2-26: conglomerato cementato	
F10	25,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-3,5: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 3,5-25: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	
F11	31,00	carotato verticale	A32	piezometro	assente	0-5,3: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 5,3-25: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	
P1	10,00	escavatore	A32	assente	assente	0-2: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 2-9,4: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli 9,4-10: sabbia limosa con ghiaia	
P2	8,00	escavatore	A32	assente	assente	0-2: terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli 2-8: ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	

Tab. 1 – Tabella riassuntiva delle indagini dirette disponibili per l'area di Progetto

7. Caratterizzazione geotecnica

In tale capitolo verranno presi in considerazione e verranno caratterizzati da un punto di vista geotecnico unicamente i terreni presenti nell'area di studio che costituiscono i terreni di appoggio delle fondazioni delle opere in progetto. L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi disponibili realizzati in prossimità delle aree oggetto di studio ha permesso di ricostruire una sequenza stratigrafica locale caratterizzata dalla presenza di:

- Terreno di riporto di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa di potenza variabile da pluridecimetrica a plurimetrica;
- Depositi alluvionali quaternari; si tratta di sedimenti prevalentemente di tipo ghiaioso, localmente molto grossolani, e sabbioso con subordinati livelli discontinui di tipo limoso-sabbioso intercalati nei depositi più grossolani. All'interno dei depositi alluvionali, i sondaggi hanno evidenziato la presenza di livelli conglomeratici discontinui, di potenza da plurimetrica sino a deca-metrica e grado di cementazione molto variabile, distribuiti a differenti profondità in alternanza ai sedimenti ghiaiosi dominanti;
- Il basamento roccioso non verrà incontrato durante la realizzazione delle opere in progetto.

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte più nel dettaglio nel capitolo 5.1, in base ai risultati delle prove in foro e di laboratorio realizzate, è stato possibile riconoscere nell'area di studio cinque unità geotecniche fondamentali:

- unità geotecnica UG1: corrispondente all'orizzonte di potenza sino a metrica di terreno vegetale meno addensato di tipo prevalentemente sabbioso-limoso con subordinata ghiaia; fanno parte di questa unità anche i depositi di origine antropica descritti come terreno di riporto nelle stratigrafie dei sondaggi che possono raggiungere una potenza dell'ordine di alcuni metri in corrispondenza dei rilevati stradali. Solamente alcune prove S.P.T. sono state realizzate all'interno di questi litotipi, pertanto sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico principalmente sulla base di dati bibliografici per terreni con caratteristiche simili.
- unità geotecnica UG2: corrispondente ai depositi prevalentemente costituiti da sabbia (mediamente circa il 60%) e sabbia limosa con ghiaia e locali ciottoli; orizzonti sabbiosi discontinui di potenza generalmente metrica sono rinvenibili a differenti profondità intervallati alle ghiaie dominanti.
- unità geotecnica UG3: è l'unità dominante e comprende i depositi quaternari più grossolani rappresentati da ghiaie con ciottoli (mediamente circa il 60%) in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa subordinata. Si tratta di ghiaie etero-metriche, poligeniche con ciottoli generalmente sub-arrotondati e locali blocchi di potenza sino a decimetrica.
- unità geotecnica UG4: è costituita da depositi più fini limoso-sabbiosi con subordinata ghiaia e rari ciottoli. Tali terreni formano livelli discontinui di potenza generalmente ridotta (mediamente inferiore al metro) intercalati a differenti profondità all'interno dei litotipi delle unità sopradescritte. Alcune prove sono state realizzate all'interno di questi litotipi, pertanto saranno caratterizzati dal punto di vista geotecnico sulla base di dati bibliografici per terreni con caratteristiche simili. Nelle sezioni geologico-geotecniche tali orizzonti data la loro ridotta continuità laterale e potenza, non sono stati visualizzati.
- unità geotecnica UG5: comprende i conglomerati poligenici costituiti da ciottoli eterometrici, arrotondati in matrice sabbioso-limosa con grado di cementazione

variabile da basso a medio e grado di alterazione localmente elevato. Tali litotipi formano orizzonti discontinui di potenza sino a deca-metrica e sono stati rinvenuti a profondità variabili all'interno delle ghiaie dominanti. Nel settore dello svincolo di Susa Est tale unità costituisce un livello di potenza deca-metrica a partire da circa 58 metri di profondità; la presenza di orizzonti debolmente cementati o con tracce di cementazione sono segnalati anche a profondità comprese tra circa 15 e 30 m nei sondaggi realizzati più in prossimità dell'alveo della Dora (sondaggi F1, F2, F5). Per i litotipi appartenenti a questa unità, il numero di prove in foro o di laboratorio attualmente disponibile è decisamente ridotto; alcuni dei principali parametri geotecnici sono stati pertanto stimati ed i range di variabilità dei parametri risultano necessariamente ampi.

La distribuzione nel sottosuolo delle unità geotecniche sopradescritte è riportata graficamente nei profili geologico-geotecnici realizzati lungo alcune sezioni tracciate nell'area di progetto (PD2-C3A-MUS-0305-0-PA-PLA). La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale è stata effettuata prendendo in considerazione i risultati delle indagini preesistenti (capitolo 6.4); tuttavia, dal momento che per le indagini realizzate a supporto della progettazione della A32 sono disponibili solo i risultati delle prove SPT e le stratigrafie dei sondaggi, mentre mancano la documentazione fotografica dei campioni di terreno e le eventuali prove di laboratorio, maggior peso è stato attribuito alle indagini realizzate nel 2010 nell'ambito del progetto della linea ferroviaria ad alta velocità Torino-Lione, per le quali è disponibile una documentazione completa (stratigrafie, foto delle cassette dei sondaggi, risultati delle prove in foro e di laboratorio etc.) che ha permesso un'analisi critica dei dati e la possibilità di ricostruzione del dato stesso.

Va sottolineato che tale classificazione geotecnica rappresenta comunque una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni reciproche delle diverse facies e la ridotta quantità di dati geotecnici attualmente disponibili. Pertanto all'interno dell'unità geotecnica rappresentata dalle ghiaie prevalenti, ad esempio, è possibile la presenza di orizzonti sabbiosi e/o limoso-sabbiosi. Le unità geotecniche vanno pertanto intese come unità le cui caratteristiche geotecniche sono definite prevalentemente dalla facies dominante; locali variazioni di granulometria e quindi di caratteristiche geotecniche vanno comunque prese in considerazione.

La classificazione proposta è basata principalmente sulla distinzione granulometrica dei terreni incontrati dedotta dalle descrizioni delle stratigrafie dei sondaggi e dai risultati delle prove granulometriche di laboratorio attualmente disponibili. Nell'ambito dei terreni analizzati, infatti, la granulometria rappresenta il fattore discriminante principale che influenza le caratteristiche e i parametri geotecnici necessari ai fini della progettazione. La presenza di limo piuttosto che di argilla all'interno di una sabbia, infatti, può determinare una netta variazione delle caratteristiche geotecniche (quali ad esempio la coesione, l'angolo di attrito interno, il modulo elastico, la permeabilità etc.) e determina una diversa risposta del terreno allo scavo (maggiore o minore plasticità) o una diversa capacità portante nel caso di fondazioni dirette.

Nella tabella seguente sono riassunti, per le unità geotecniche interessate dall'opera in progetto, i contenuti medi di ciascuna classe granulometrica, ricavati dai risultati delle prove di laboratorio attualmente disponibili. Occorre sottolineare tuttavia che il numero di prove granulometriche di laboratorio è decisamente ridotto e che non sono disponibili dati relativamente ai litotipi appartenenti alle unità geotecniche UG1, UG4 ed UG5.

Valori Medi	Unità Geotecnica	Analisi Granulometrica				
	UG	Ciottoli	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
Ghiaia con sabbia limosa	UG3	0,1	60,4	26,8	10,7	2,1
Sabbia limoso-ghiaiosa	UG2	0,0	18,2	61,5	15,8	4,6

Tab. 2 – Contenuti medi di ciascuna classe granulometrica, ricavati dai risultati delle prove di laboratorio attualmente disponibili

Dalle curve granulometriche riportate nel seguito emerge una netta distinzione granulometrica tra le unità presenti; infatti il contenuto in sabbia dei litotipi appartenenti all'unità UG2 (mediamente circa 60%) è decisamente superiore rispetto a quello delle ghiaie delle unità UG3 (mediamente circa 27%). Quest'ultima infatti è caratterizzata da una prevalenza netta della frazione grossolana (ghiaia + blocchi) rispetto alla frazione sabbiosa e limoso-argillosa.

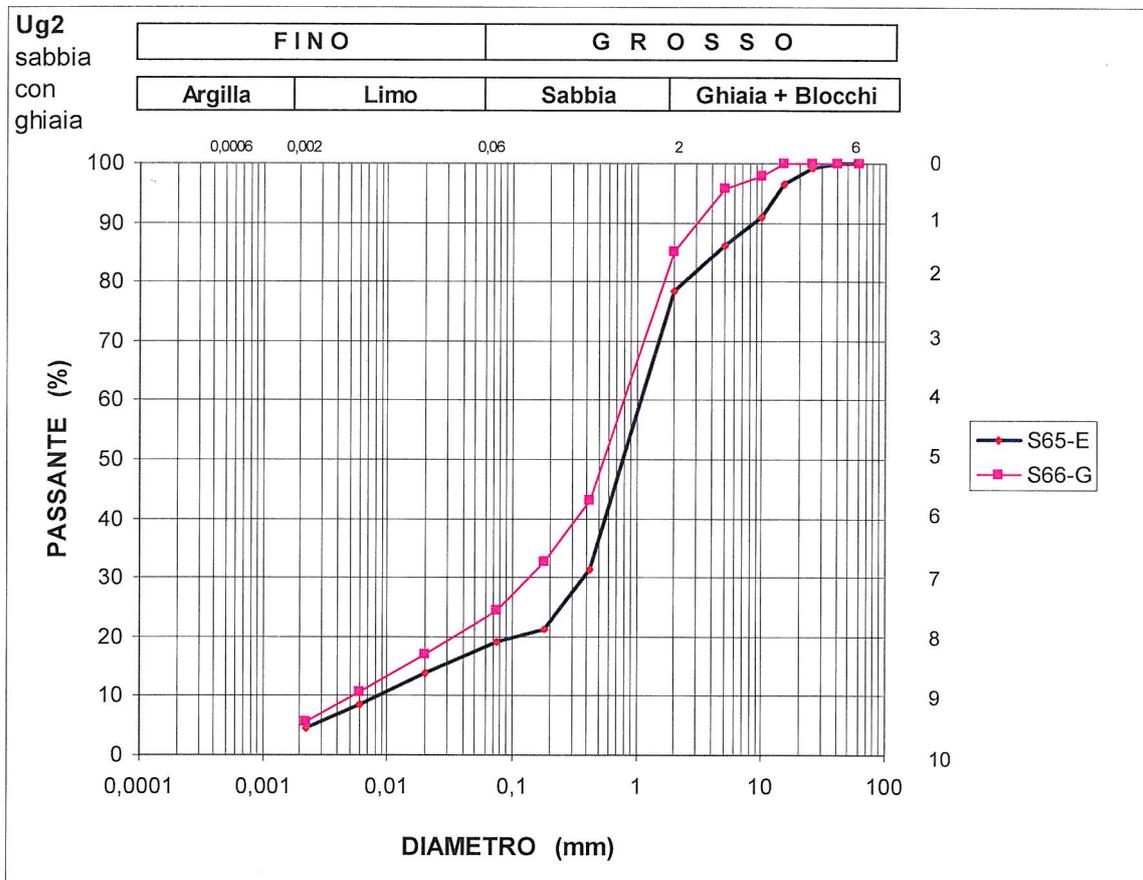


Fig. 5 – Curve granulometriche dei campioni di Sabbia e sabbia limosa con ghiaia (Ug2)

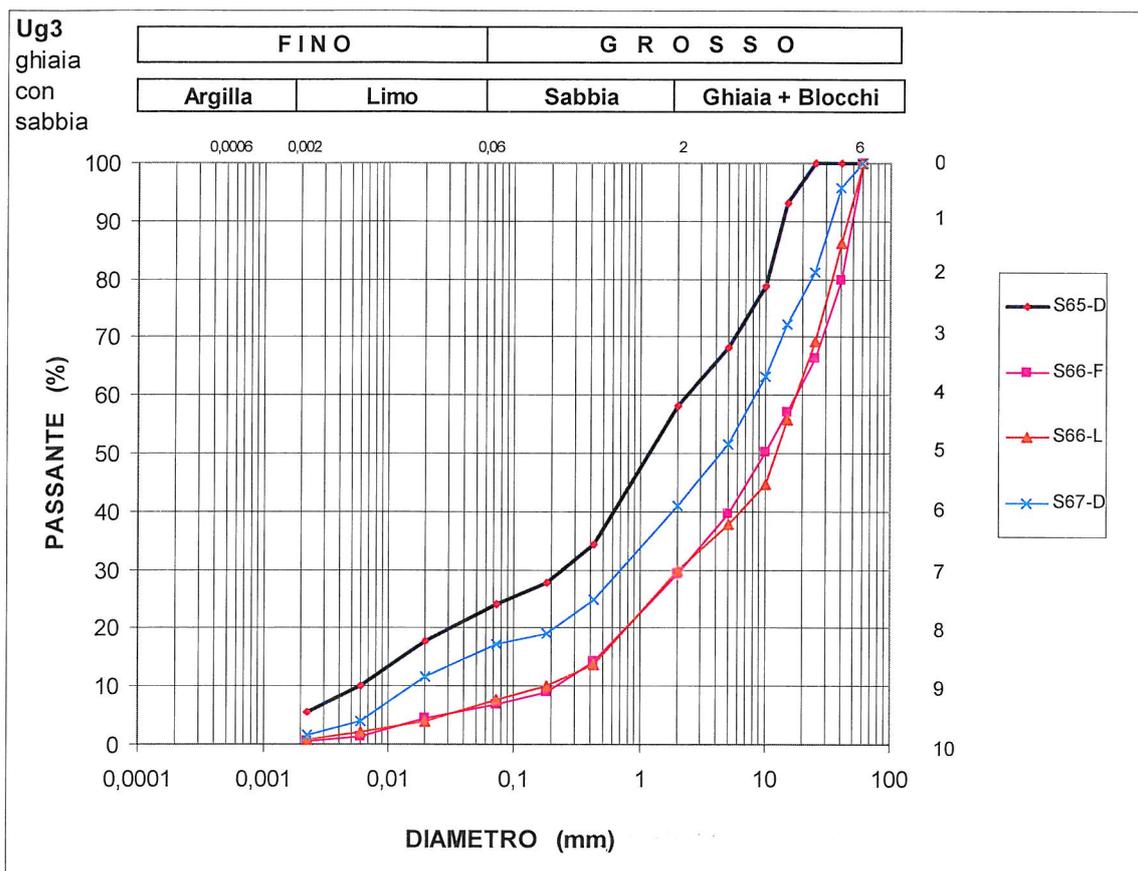


Fig. 6 – Curve granulometriche dei campioni di Ghiaia con sabbia limosa (Ug3)

7.1 Parametrizzazione geotecnica

Per la caratterizzazione geotecnica, ovvero per la definizione dei principali parametri geotecnici delle unità distinte, sono attualmente disponibili i risultati delle prove in foro di tipo S.P.T. realizzate all'interno dei sondaggi delle differenti campagne indagini ed i risultati di una serie di prove di laboratorio realizzate su campioni di terreno prelevati nei sondaggi della campagna indagini LTF 2010.

Tali risultati sono riassunti nei capitoli seguenti.

7.1.1 Prove penetrometriche S.P.T.

All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite sistematicamente le prove penetrometriche dinamiche di tipo S.P.T (Standard Penetration Test). Esse consistono nell'infissione di una punta conica posata in fondo al foro per tre tratti successivi di 15.00 cm e nella registrazione del numero di colpi del maglio necessari per l'approfondimento. Il maglio utilizzato ha un peso di 63.50 Kg e viene lasciato cadere da un'altezza di 0.76 m, mentre la punta conica ha un diametro esterno di 51 mm e un'apertura di 60°. Sommando i numeri di colpi misurati negli ultimi due tratti di avanzamento si ottiene il valore di N_{spt} che può essere utilizzato tramite opportune correlazioni per dedurre alcuni dei principali parametri geotecnici del terreno.

Nella tabella seguente sono stati riassunti i risultati delle prove penetrometriche SPT realizzate nell'area di progetto.

Codice sondaggio	Progetto	Straumentazione in foro	Profondità prova	Litotipo	Prove SPT			
					N1	N2	N3	NSPT
S65	LTF 2010	piezometro	3	terreno di riporto: sabbia limosa e limo argilloso	13	21	R(2)	R
			6	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	19	20	39	59
			9	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	12	29	37	66
			12	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	13	R(11)		R
			15	sabbia medio-fine con ghiaia medio-grossolana	19	R(12)		R
			18	sabbia limosa con ghiaia medio-fine	13	31	34	65
			21	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	27	47	R(2)	R
			24	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	42	R(4)		R
S66	LTF 2010	piezometro	4,5	terreno di riporto: sabbia medio fine con ghiaia medio grossolana (blocchi)	10	8	10	18
			9	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	21	R(12)		R
			13,5	ghiaia eterometrica e ciottoli con sabbia medio fine e matrice limosa	17	R(10)		R
			16,5	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	25	39	R(10)	R
			21	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	41	R(3)		R
			25,5	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	39	R(7)		R
			30	sabbia medio-fine debolmente limosa con ghiaia medio grossolana	29	21	33	54
			33	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	46	R(11)		R
S67	LTF 2010	piezometro	3	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa	9	12	R(10)	R
			6	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa	R3			R
			7,5	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa	15	11	12	23
			9	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	19	R(10)		R
			12	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	19	24	26	50
			15	sabbia fine debolmente limosa con ghiaia eterometrica	R7			R
			18	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	48	R(4)		R
			21	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	35	R(6)		R
F2	A32	piezometro	9,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			11,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			13,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			15,8	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
			17,8	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
			19,8	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	20	R		R
			21,8	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
			23,8	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
F5	A32	piezometro	25,5	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
			27	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	25	R		R
			4,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	33	R		R
			6,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	19	37	50	87
			8,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			10,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			12,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			14,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
F6	A32	piezometro	16,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			18,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			21	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	28	R		R
			3,3	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	8	13	18	31
			5,9	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	33	R		R
			7,9	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			11,9	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	38	R		R
			13,9	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
F10	A32	piezometro	15,9	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	R			R
			17,5	conglomerato poco cementato alterato e sfatto	32	R		R
			2,2	terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli	10	13	15	28
			5,3	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	21	R		R
			6,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	41	R		R
			8,3	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			9,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	36	R		R
			11,5	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	18	36	50	86
F11	A32	piezometro	13	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
			14,7	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	37	R		R
			16,4	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	19	34	50	84
			18	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	39	R		R
			19,6	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	17	37	50	87
			21	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	19	32	50	82
			2,2	terreno vegetale limoso-sabbioso con ciottoli	18	29	48	77
			5,3	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R
7,3	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
9,2	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
11	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
12,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	37	R		R			
14,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
16,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
18,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	39	R		R			
20,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	R			R			
22,8	ghiaia in matrice sabbioso-limosa con ciottoli	18	45	R	R			

Tab. 3 – Sintesi dei risultati delle prove penetrometriche S.P.T. realizzate nei sondaggi preesistenti all'interno dell'area di progetto; (R = rifiuto)

I risultati delle prove S.P.T. che non hanno raggiunto il rifiuto sono stati utilizzati per determinare, tramite opportune correlazioni reperibili in bibliografia, alcuni dei principali parametri geotecnici dei terreni presenti in sito.

In particolare sono stati ricavati i seguenti parametri geotecnici:

- angolo di attrito ϕ ($^{\circ}$): metodo diretto “Japanese National Railway” e metodo diretto “De Mello”;
- modulo di Young E (Kg/cm²): metodo di “Menzenbach & Malcev”;
- Modulo di taglio dinamico G₀ (MPa): metodo di “Crespellani e Vannucchi”;

La coesione drenata c' dell'unità dominante, vista la natura prevalentemente grossolana e granulare, è stata assunta preliminarmente e cautelativamente uguale a zero.

7.1.2 Prove di permeabilità in foro

Durante la campagna di indagini LTF 2010 sono state anche realizzate una serie di prove di permeabilità in foro tipo Lefranc per la determinazione dei coefficienti di permeabilità K (m/sec) del terreno.

Nel seguito viene data una sintesi dei risultati di tutte le prove disponibili per l'area di progetto:

Codice sondaggio	Litotipo	Profondità prova	Coefficiente permeabilità	Unità geotecnica
		m	K (m/sec)	UG
S65	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	7	2,26E-05	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	10,5	1,42E-05	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	17,5	3,30E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	23,5	8,12E-06	UG3
S66	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	19,5	2,58E-05	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	27	1,22E-05	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	31,5	4,25E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	39,5	2,30E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	48	2,43E-06	UG3
	conglomerato da poco a moderatamente cementato	59	1,62E-05	UG5
	conglomerato da poco a moderatamente cementato	63	2,20E-05	UG5
	conglomerato da poco a moderatamente cementato	67	3,70E-06	UG5
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	75	2,15E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	89	1,59E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	94	1,36E-06	UG3
	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	104	9,27E-07	UG3
	S67	sabbia limosa con ghiaia	7,5	3,41E-06
ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa		14,5	1,16E-05	UG3

Tab. 4 – Sintesi dei risultati delle prove di permeabilità in foro realizzate nei sondaggi della campagna indagini LTF 2010

Dalla tabella soprastante emerge che tutte le unità geotecniche testate presentano valori di permeabilità comparabili, compresi tra circa 1E-06 e 1E-05 m/sec, ed un valore medio dell'ordine di circa 1E-05 m/sec indicativo di un terreno caratterizzato da un grado di permeabilità medio.

7.1.3 Indagini geofisiche

Durante il mese di Dicembre 2012 a supporto della progettazione definitiva del progetto di rifacimento ed adeguamento dell'attuale svincolo di Susa Est è stata effettuata una

campagna di indagini geofisiche di tipo MASW composta da quattro stendimenti di geofoni verticali collocati all'interno dell'area di parcheggio SITAF nel comune di Susa (*Fig. 7*); gli stendi menti sono costituiti da 24 geofoni verticali disposti con spaziatura di due metri per una lunghezza complessiva di 46 m per ciascun stendimento. L'indagine è stata finalizzata a ricavare il parametro Vs30 per la caratterizzazione sismica del terreno indagato secondo quanto disposto dalla normativa vigente.

I risultati delle acquisizioni MASW sono riassunti nelle figure seguenti; la relazione geofisica e i rispettivi certificati sono presentati nella Relazione delle Indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0301-0-PA-NOT). L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata nella Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0304-0-PA-PLA).

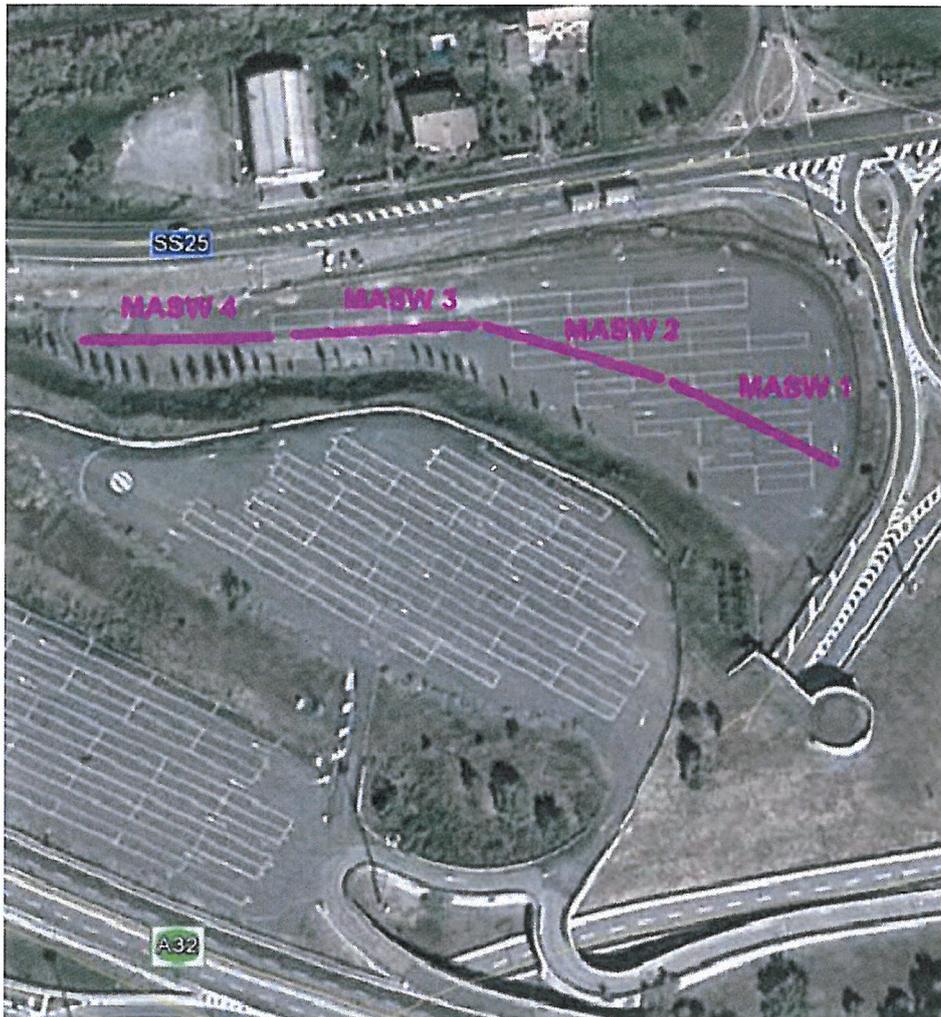


Fig. 7 – Ubicazione delle indagini MASW realizzate nell'area di progetto

Le indagini realizzate hanno permesso di evidenziare la presenza di:

- un mezzo che si estende sino a circa 8 m di profondità caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio sino a circa 300 m/sec;
- un orizzonte che si estende sino a 30 metri di profondità nel quale sono stati registrati valori di Vs di poco superiori a 600 m/sec;

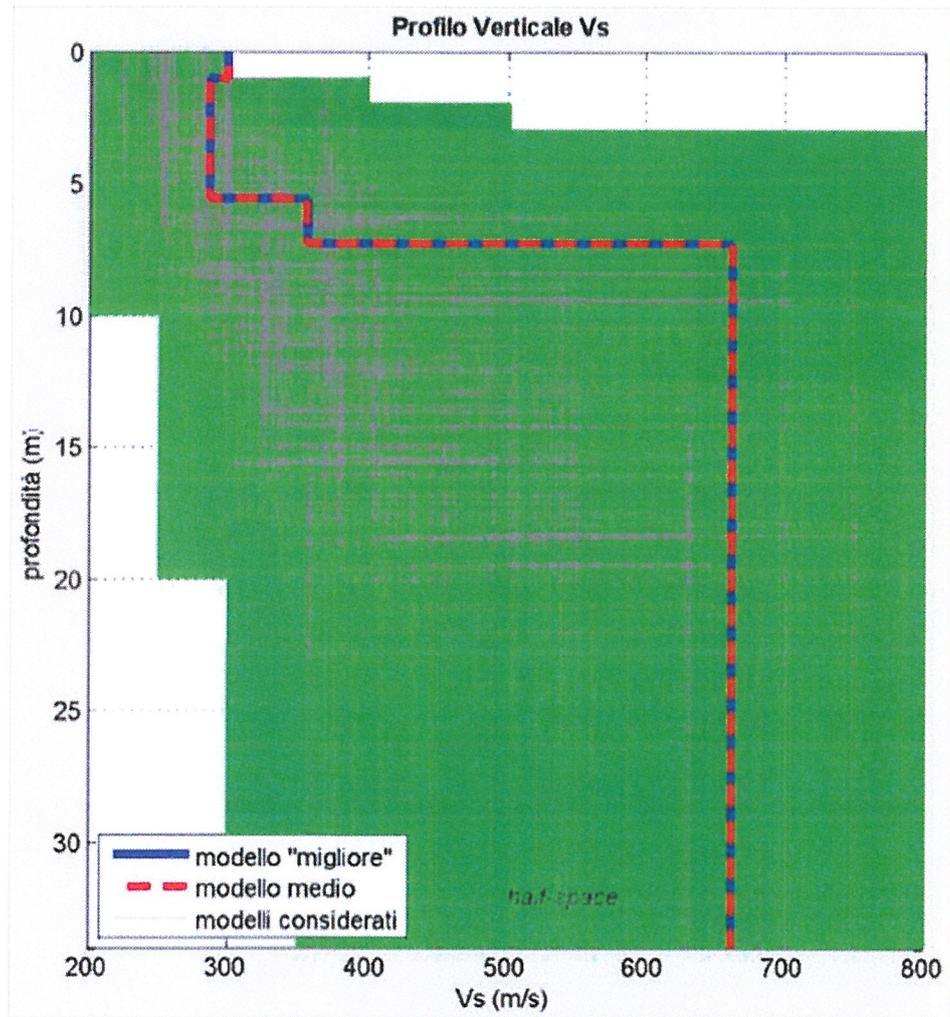


Fig. 8 –MASW 1: Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs

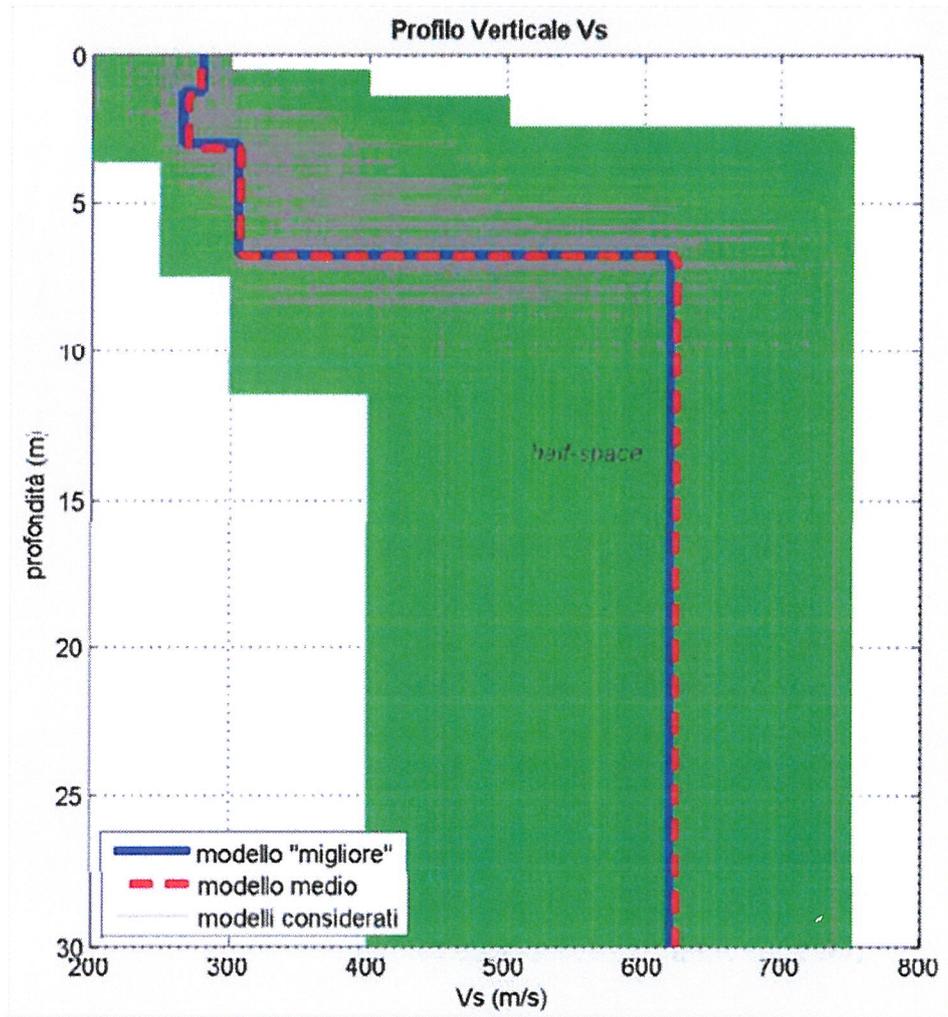


Fig. 9 – MASW 2: Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs

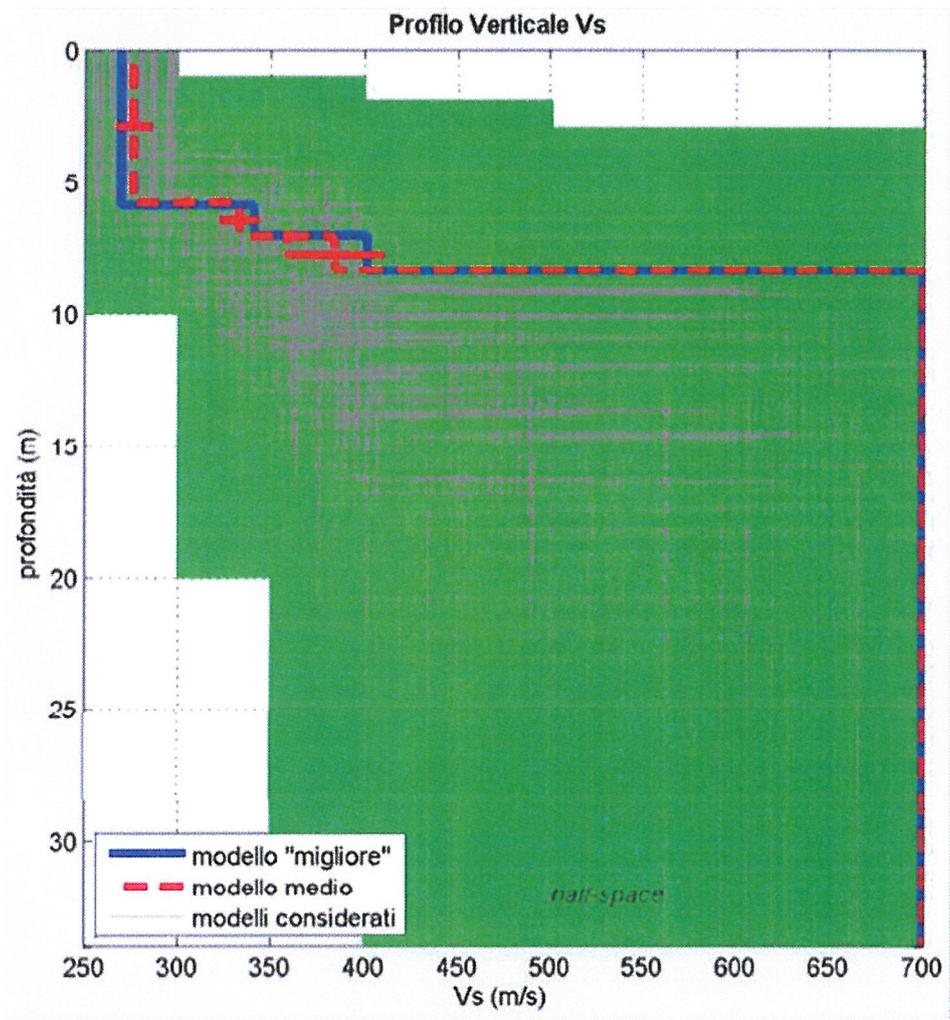


Fig. 10 – MASW 3: Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs

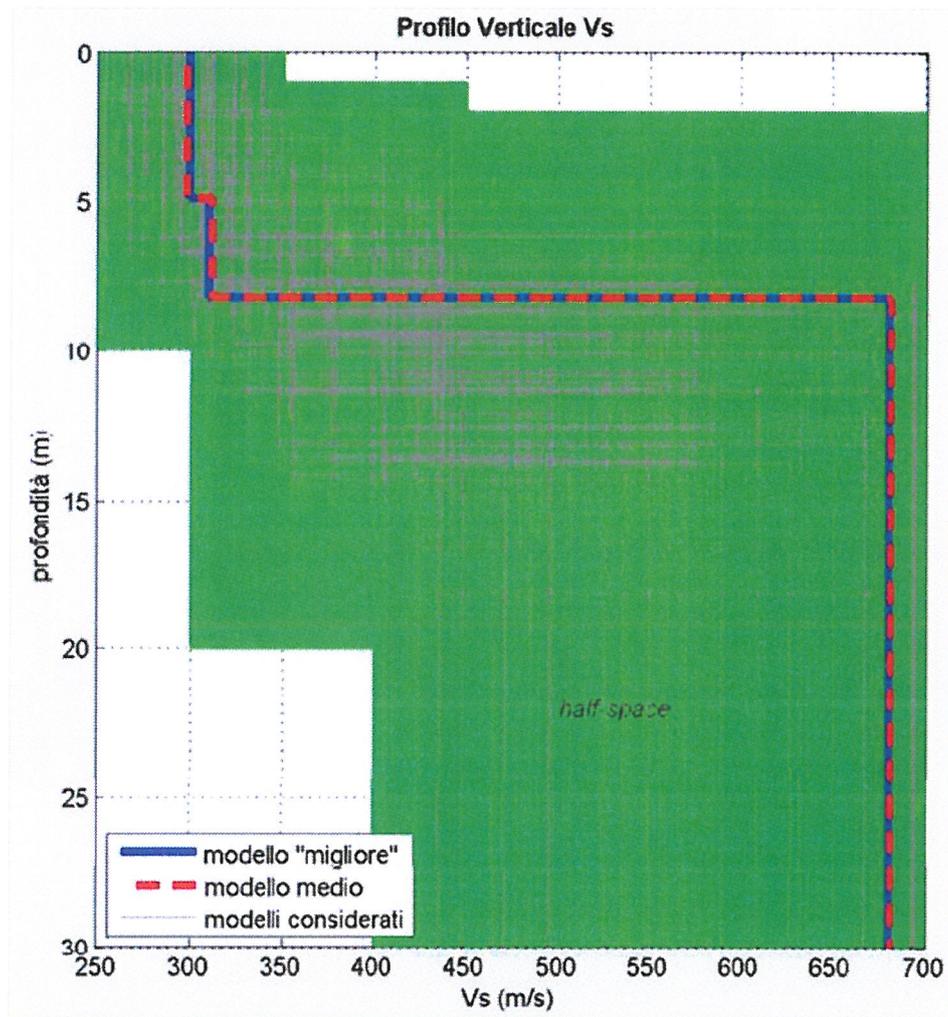


Fig. 11 – MASW 4: Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio V_s

Per il calcolo della V_{s30} è stata utilizzata la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = spessore in metri dello strato i -esimo

V_i = velocità dell'onda di taglio i -esima

N = numero di strati

Dall'applicazione della relazione sopra riportata sono stati ottenuti i seguenti valori di V_{s30} :

MASW 1; $V_{s30} = 513$ m/sec

MASW 2; $V_{s30} = 495$ m/sec

MASW 3; $V_{s30} = 507$ m/sec

MASW 4; $V_{s30} = 507$ m/sec

7.1.4 Prove di laboratorio

All'interno di alcuni dei sondaggi carotati realizzati durante le campagne di indagini LTF 2010 sono stati prelevati una serie di campioni di terreno da sottoporre alle prove di laboratorio. Sono state realizzate sia prove per la determinazione delle proprietà fisiche dei terreni sia una serie di prove di taglio consolidate non drenate in cella triassiale presumibilmente su campioni di terreno ricostituiti in laboratorio. Queste ultime, dal momento che sono state realizzate su campioni prevalentemente ghiaiosi (clast supported), hanno fornito dei parametri geotecnici caratterizzanti della matrice sabbioso limosa, ma che non possono essere considerati come rappresentativi della ghiaia nel suo complesso.

I risultati delle prove di laboratorio attualmente disponibili sono sintetizzati nella tabella seguente; i certificati delle prove di laboratorio attualmente disponibili sono presentati nella relazione delle indagini geognostiche (PD2-C3A-MUS-0301-0-PA-NOT).

Codice sondaggio	Codice campione	Profondità campione (m)		Litotipo	Unità Geotecnica	Analisi Granulometrica					Limiti di Atterberg			Contenuto d'acqua %	Peso di volume Kn/m ³	Triassiale CU	
		da	a			UG	Ciottoli	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	LL	LP			IP	c (Kpa)
S65	S65D	12,6	13	Ghiaia e sabbia limosa	UG3	0	41,7	36,3	16,6	5,3	19	16	3	7,65	18,4	25	22
	S65E	18,3	18,8	Sabbia con ghiaia limosa	UG2	0	21,6	60,8	13,7	3,9	18	16	2	7,05	18,1	17	20
S66	S66F	30	30,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	UG3	0,1	70,6	23	5,7	0,6	18	16	2	6,94	18,5	31	17
	S66G	35	35,5	Sabbia limoso-ghiaiosa	UG2	0	14,8	62,2	17,8	5,2	16	15	1	7,09	18	25	20
	S66L	44	44,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	UG3	0,1	70	23,1	6	0,8	20	18	2	7,17	18,5	30	19
S67	S67D	15,5	16	Ghiaia con sabbia limosa	UG3	0	59,1	24,9	14,5	1,5	21	18	3	7,25	18,6	14	19

Tab. 5 – Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio realizzate sui campioni di terreno prelevati dai sondaggi esistenti nell'area di progetto

7.1.5 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

In materia di classificazione del rischio sismico, la normativa in vigore fa riferimento al Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.29 del 04/02/2008). Le NTC definiscono la pericolosità sismica di un sito in termini della specifica accelerazione orizzontale massima su roccia (condizione per la quale ag coincide con PGA - Peak Ground Acceleration, accelerazione massima al suolo) e del corrispondente spettro elastico di risposta al sisma. Il metodo deriva direttamente dagli studi realizzati dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) commissionati dalla Protezione Civile che hanno discretizzato il territorio nazionale creando una griglia con passo pari a 5 km nelle due direzioni orizzontali. In corrispondenza dei nodi di questo reticolo si è attribuito, tramite analisi probabilistica, i valori utili di ag e dello spettro elastico. Tali valori sono direttamente forniti dalle NTC (nel suo Allegato B). Posizionando il sito di indagine sul reticolo è quindi possibile attribuire mediante interpolazione specifici valori di ag che sono amplificati considerando la categoria di suolo, l'effetto topografico e gli effetti di bordo di valli alluvionali.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni si rifanno a loro volta all'Eurocodice EN 1998-1 che distingue i terreni in 5 diverse classi (A, B, C, D, E, più due classi speciali S1 e S2) sulla base delle caratteristiche litologiche, del profilo stratigrafico e dei valori della velocità delle onde di taglio $V_{s,30}$ (m/sec) registrati nei primi 30 m di profondità. In mancanza di disponibilità di quest'ultimo dato, l'Eurocodice consente l'utilizzo del valore medio di SPT che può essere anche correlato al valore della resistenza al taglio non drenata c_u (kPa).

Nell'area di progetto sono state realizzate 4 indagini geofisiche con metodologia MASW per la determinazione dei valori di $V_{s,30}$, i cui risultati sono stati sinteticamente descritti nel capitolo 7.1.3. Tali indagini hanno messo in evidenza che i terreni presenti nell'area di studio sono caratterizzati da valori di V_s 30 oscillanti tra circa 495 e 510 m/sec (mediamente circa 505 m/sec). Sulla base di tali considerazioni e sulla base delle indicazioni espresse nella normativa, i terreni presenti nell'area di progetto possono essere considerati appartenenti alla categoria sismica **B**.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Fig. 12 – Tabella riassuntiva delle categorie di sottosuolo estratta dalle “Norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 14 gennaio 2008)

7.2 Sintesi dei parametri geotecnici delle Unità geotecniche distinte nel settore di Progetto

Sulla base delle considerazioni e dell'analisi dei dati esposti nei capitoli precedenti, l'area di progetto dello svincolo Susa Est è caratterizzata dal punto di vista geologico dalla presenza di prevalenti depositi granulari di origine alluvionale al cui interno sono state distinte

5 unità geotecniche: UG1, UG2, UG3, UG4 e UG5, le cui caratteristiche litologiche e geotecniche sono state descritte nel dettaglio nel Capitolo 7.

Di seguito si propone una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici ricavati a partire dai risultati di tutte le indagini disponibili nell'area di studio, distinti per ciascuna unità geotecnica.

Si tratta comunque di una parametrizzazione preliminare basata sui dati attualmente disponibili; viene pertanto proposta per ciascun parametro una forchetta abbastanza ampia di valori, per tener conto della grande variabilità litologica del settore e del numero ridotto di dati disponibili, soprattutto per quanto riguarda le prove di laboratorio.

La caratterizzazione geotecnica dovrà essere pertanto affinata e migliorata una volta che saranno disponibili tutti i risultati delle prove di laboratorio sui campioni di terreno prelevati dai sondaggi della campagna indagini LTF 2012 nell'adiacente settore dell'attuale autoporto che sono in via di realizzazione. In particolare ad oggi relativamente ai conglomerati appartenenti all'unità UG5, sono disponibili solo i risultati di 4 prove di compressione semplice e 2 prove granulometriche; pertanto i parametri geotecnici riportati nella tabella seguente sono stati stimati sulla base di esperienze in contesti simili e di valori reperibili in bibliografia. Dal momento che i conglomerati sono un litotipo molto eterogeneo le cui caratteristiche geotecniche sono legate al grado di cementazione, d'alterazione ed al rapporto ciottoli/matrice, la forchetta di valori per ciascuno dei parametri sotto indicati è necessariamente molto ampia.

Svincolo Susa Est : Sintesi dei principali parametri geotecnici delle Unità interessate dal progetto								
Unità geotecnica	Litotipo	Peso di volume naturale	Coesione	Angolo di attrito	Modulo di Young	Modulo di taglio	Coefficiente di permeabilità	UCS
		KN/m ³	c' (KPa)	ϕ' (°)	E (Mpa)	G0 (MPa)	K (m/sec)	Mpa
Ug1	Terreno di riporto ghiaioso-sabbioso	18-20	0	25-35	20-30	40-60	1E-04 - 1E-06	-
Ug2	Sabbia limosa con ghiaia	18-20	0-10	30-35	50-70	80-100	1E-04 - 1E-06	-
Ug3	Ghiaia con ciottoli in matrice sabbioso-limosa subordinata	18-20	0	30-40	40-90	60-120	1E-04 - 1E-06	-
Ug4	Limi sabbiosi con subordinata ghiaia	18-20	0-20	20-25	5-20	35-45	1E-06 - 1E-08	-
Ug5	Conglomerati da poco a mediamente cementati	19-21	20-100	35-45	500-5000	-	1E-04 - 1E-06	2-5

Tab. 6 – Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici per ciascuna delle unità geotecniche interessate dalle opere in progetto